

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский университет ИТМО»

ФАКУЛЬТЕТ ПРОГРАММНОЙ ИНЖЕНЕРИИ И КОМПЬЮТЕРНОЙ ТЕХНИКИ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

по дисциплине

‘Телекоммуникационные системы’

Выполнил:

Студент группы Р33312

Соболев Иван

Александрович

Преподаватель:

Алиев Тауфик Измаилович



УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

Санкт-Петербург, 2023

Этап 1. Исходное сообщение и его представление в шестнадцатеричном и двоичном виде, длина исходного сообщения (в байтах и битах).

Исходное сообщение: Соболев И. А.

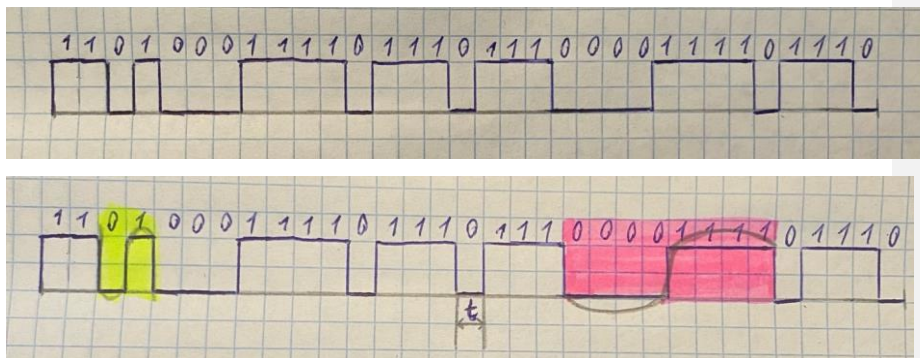
В шестнадцатеричном коде: D1 EE E1 EE EB E5 E2 20 C8 2E 20 C0 2E

В двоичном коде: 11010001 11101110 11100001 11101110 11101011
11100101 11100010 00100000 11001000 00101110 00100000 11000000
00101110

Длина сообщения: 13 байт (104 бита)

Этап 2. Физическое кодирование исходного сообщения.

Потенциальный код (без возврата к нулю – NRZ):



Верхняя и нижняя границы частот в передаваемом сообщении и спектр сигнала:

Пусть $C = 10 \text{ Мбит/с}$

1) $C = 10 \text{ Мбит/с} \rightarrow t = \frac{1}{C} = 100 \text{ нс}$; $T = 2t \rightarrow f_b = \frac{C}{2} = 5 \text{ МГц}$

2) $T = 8t \rightarrow f_n = 5 : 4 = 1,25 \text{ МГц}$

$S = f_b - f_n = 5 - 1,25 = 3,75 \text{ МГц}$

4 гармоник: $S = 7 \cdot f_b - f_n = 35 - 1,25 = 33,75 \text{ МГц}$

Среднее значение частоты в спектре передаваемого сигнала:

Добавлено примечание (ГТА1): Отчет - не по форме!
Где титульный лист, нумерация страниц,...?

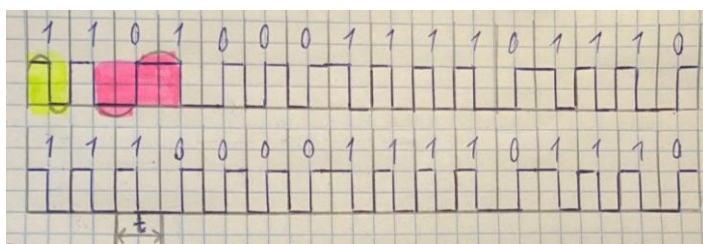
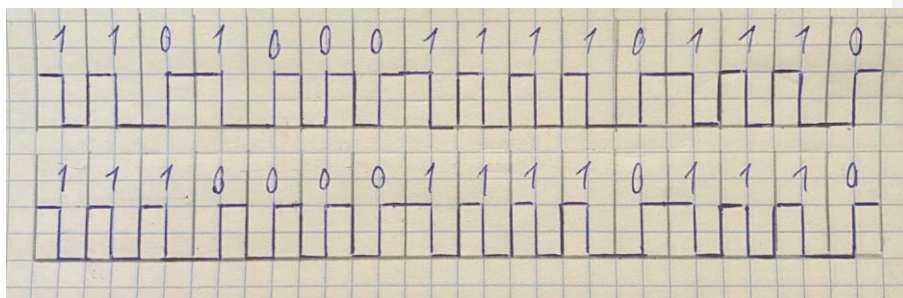
$$f_{cp} = (6 \cdot 5 + 1 \cdot 2,5 + 4 \cdot 1,67 + 3 \cdot 1,25) / 14 = 3,066 \text{ МГц}$$

Полоса пропускания, необходимая для качественной передачи данного сообщения:

$$\text{Полоса пропускания } F \rightarrow S \Rightarrow F > 33,75 \text{ МГц}$$

$$F = 34 \text{ МГц}$$

Манчестерское кодирование:



Верхняя и нижняя границы частот в передаваемом сообщении и спектр сигнала:

Пусть $c = 10 \text{ Мбит/с}$

1) $C = 10 \text{ Мбит/с} \rightarrow t = \frac{1}{C}$; $T = t \rightarrow f_c = \frac{1}{T} = \frac{1}{t} = C \Rightarrow$
 $\Rightarrow f_c = 10 \text{ МГц}$

2) $T = 2t \rightarrow f_n = 10:2 = 5 \text{ МГц}$
 $S = f_c - f_n = 10 - 5 = 5 \text{ МГц}$
 Ч гармоник: $S = 7 \cdot f_c - f_n = 7 \cdot 10 - 5 = 65 \text{ МГц}$

Среднее значение частоты в спектре передаваемого сигнала:

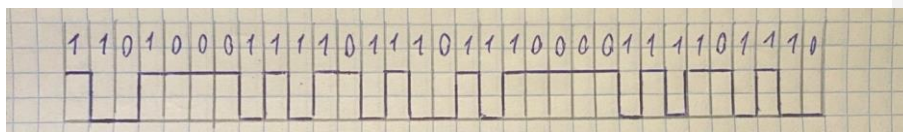
$$f_{cp} = (38 \cdot 10 + 13 \cdot 5) / 51 = 8,7 \text{ МГц}$$

Полоса пропускания, необходимая для качественной передачи данного сообщения:

Полоса пропускания $F > S \Rightarrow F > 65 \text{ МГц}$

$$F = 66 \text{ МГц}$$

Потенциальный код с инверсией при единице (NRZI):



Верхняя и нижняя границы частот в передаваемом сообщении и спектр сигнала:

Пусть $c = 10 \text{ Мбит/с}$

1) $C = 10 \text{ Мбит/с} \rightarrow t = \frac{1}{C} = 100 \text{ нс}$; $T = 2t \rightarrow f_c = \frac{1}{T} = \frac{1}{2t} = \frac{C}{2} = 5 \text{ МГц}$

2) $T = 10t \rightarrow f_n = 5:5 = 1 \text{ МГц}$
 $S = f_c - f_n = 5 - 1 = 4 \text{ МГц}$
 Ч гармоник: $S = 7 \cdot f_c - f_n = 35 - 1 = 34 \text{ МГц}$

Среднее значение частоты в спектре передаваемого сигнала:

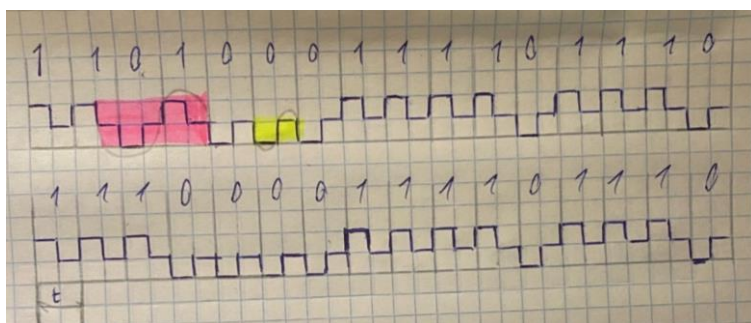
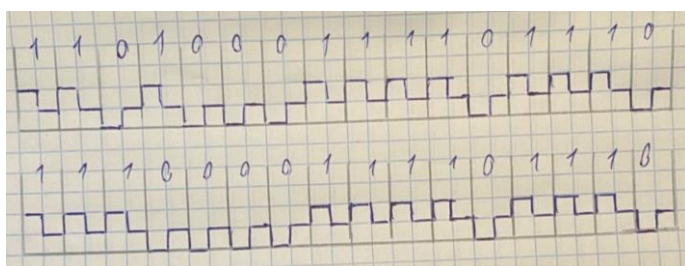
$$f_{\text{гр}} = (13 \cdot 5 + 5 \cdot 2,5 + 1 \cdot 1,25 + 1 \cdot 1) / 20 \approx 3,98 \text{ МГц}$$

Полоса пропускания, необходимая для качественной передачи данного сообщения:

$$\text{Полоса пропускания: } F > S \Rightarrow F > 34 \text{ МГц.}$$

$$F = 35 \text{ МГц}$$

Биполярный импульсный код (RZ):



Верхняя и нижняя границы частот в передаваемом сообщении и спектр сигнала:

Пусть $C = 10 \text{ МГц}$

- 1) $C = 10 \text{ МГц} \rightarrow t = \frac{1}{C} = 100 \text{ нс}; T = t \rightarrow f_0 = \frac{1}{T} = \frac{1}{t} = C = 10 \text{ МГц}$
- 2) $T = 2,5t \rightarrow f_H = 10 : 2,5 = 4 \text{ МГц}$

4 гармоники $4 \cdot 10 = 40 \text{ МГц}$

Среднее значение частоты в спектре передаваемого сигнала:

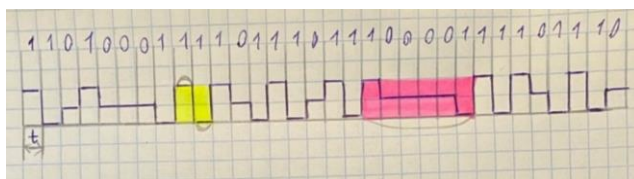
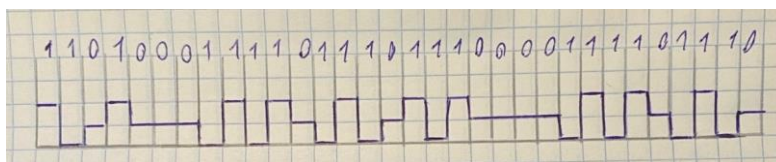
$$f_{cp} = (31 \cdot 10 + 6,6 \cdot 2,5) / 37,6 \approx 8,68 \text{ МГц}$$

Полоса пропускания, необходимая для качественной передачи данного сообщения:

$$\text{Полоса пропускания: } F > S \Rightarrow F > 66 \text{ МГц}$$

$$F = 67 \text{ МГц}$$

Биполярное кодирование с альтернативной инверсией (AMI):



Верхняя и нижняя границы частот в передаваемом сообщении и спектр сигнала:

Пусть $c = 10 \text{ МБ/с}$

1) $C = 10 \text{ МБ/с} \rightarrow t = 100 \text{ нс}; T = 2t \rightarrow f_6 = \frac{c}{2} = 5 \text{ МГц}$

2) $T = 12t \rightarrow f_H = 5:6 = 0,83 \text{ МГц}$

$S = f_6 - f_H = 5 - 0,83 \text{ МГц} = 4,17 \text{ МГц}$

Ч пропускания: $S = 7,5 - 0,83 = 34,17 \text{ МГц}$

Среднее значение частоты в спектре передаваемого сигнала:

$$f_{cp} = (8,5 + 4\frac{2}{3} \cdot \frac{5}{3} + \frac{3}{5} \cdot \frac{5}{5} + 1 \cdot 0,83) / 14\frac{4}{5} \approx 2,8 \text{ МГц}$$

Полоса пропускания, необходимая для качественной передачи данного сообщения:

Полоса пропускания $F > S \Rightarrow F > 34,17 \text{ МГц}$

$F = 35 \text{ МГц}$

Сравнительные таблицы

	f_v	f_n	f_{cp}	F
NPZ	35	1.75	3.066	34
M2	70	5	8.7	66
NRZI	35	1	3.98	35
RZ	70	4	8.68	67
AMI	35	0.83	2.8	35

Параметры сравнения	NRZ	M2	NRZI	RZ	AMI
Спектр сигнала	+	-	+	-	+
Самосинхронизация	-	+	-	+	-
Постоянная составляющая	-	+	-	+	-
Обнаружение ошибок	-	-	+	+	+
Стоимость	+	+	+	-	-

По сравнительной таблице можно сделать вывод о том, что следующие способы физического кодирования можно выделить в качестве наилучших: RZ, NRZI и манчестерский код. Первый имеет самосинхронизацию, постоянная составляющая отсутствует, способен обнаруживать ошибки, но при этом стоимость реализации высокая, так как имеет три уровня сигнала (из серьёзных минусов стоит отметить необходимость реализовывать широкую полосу пропускания). M2 обладает двумя уровнями сигнала – низкой стоимостью реализации, но не способен обнаруживать ошибки. NRZI имеет меньший спектр, низкую стоимость и может обнаруживать ошибки, (так как при единице сигнал должен меняться на противоположный, если мы, например, получили две единицы, а сигнал не поменялся на противоположный, то это ошибка), но есть постоянная составляющая и не обнаруживает ошибки.

Все три способа имеют одинаковое количество плюсов, но в качестве лучших для кодирования исходного сообщения считаю целесообразным выбрать M2 и NRZI, так как они оба обладают низкой стоимостью реализации.

Этап 3. Логическое (избыточное) кодирование исходного сообщения

для метода NRZI

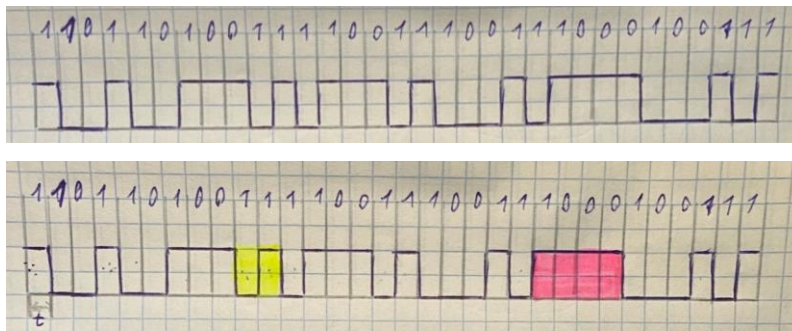
В двоичном коде: 1101 1010 0111 1001 1100 1110 0010 0111 1001 1100 1110
0101 1111 1000 1011 1110 0100 1010 0101 1110 1101 0100 1010 0101 1100
1001 0111 1011 0101 1110 1001 0111 00

В шестнадцатеричном коде: DA 79 CE 27 9C E5 F8 BE 4A 5E D4 A5 C9 7B
5E 97 0

Длина сообщения: 16.25 байт (130 бит)

Избыточность: $(1 - (130/104)) * 100 = 25\%$

NRZI



Добавлено примечание ([TA2]): Для какого метода физического кодирования?

Верхняя и нижняя границы частот в передаваемом сообщении и спектр сигнала:

Пусть $C = 10 \text{ Мбит/с}$

1) $C = 10 \text{ Мбит/с} \Rightarrow t = \frac{1}{C} = 100 \text{ нс}; T = 2t \Rightarrow f_0 = \frac{1}{T} = \frac{1}{2t} = \frac{C}{2} = 5 \text{ МГц}$

2) $T = 8t \Rightarrow f_1 = 5; 4 = 1,25 \text{ МГц}$

$S = 5 - 1,25 = 3,75 \text{ МГц}$

Ч. частоты: $7,5 - 1,25 = 33,75 \text{ МГц}$

Среднее значение частоты в спектре передаваемого сигнала:

$$f_{cp} = (12,5 + 2,25 + 4 \cdot 1,67 + 1 \cdot 1,25) / 19 \approx 3,8 \text{ МГц}$$

Полоса пропускания, необходимая для качественной передачи данного сообщения:

Полоса пропускания: $F > S \Rightarrow F > 33,75 \text{ МГц}$

$$F = 34 \text{ МГц}$$

Этап 4. Скремблирование исходного сообщения

Исходное сообщение: 11010001 11101110 11100001 11101110 11101011
11100101 11100010 00100000 11001000 00101110 00100000 11000000
00101110

$$B_i = A_i \oplus B_{i-5} \oplus B_{i-7}$$

Данный полином выбран, так как за счет того, что мы учитываем разряды «через один» (имеются в виду $i-5$ и $i-7$) мы сможем разбавить постоянную составляющую. Длина постоянной составляющей в моем случае один раз равна 8 (из нулей), но в основном колеблется от 4 до 6 (из нулей) -> если мы будем учитывать биты со сдвигом на 5 и на 7 (которые, допустим, будут входить в постоянную составляющую), то текущее значение A_i почти всегда не будет совпадать с ними, так как оно не будет входить в постоянную составляющую.

Для первых 4 байт:

$$B1 = A1 = 1$$

$$B2 = A2 = 1$$

$$B3 = A3 = 0$$

$$B4 = A4 = 1$$

$$B5 = A5 = 0$$

$$B6 = A6 \oplus B1 = 0 \oplus 1 = 1$$

$$B7 = A7 \oplus B2 = 0 \oplus 1 = 1$$

$$B8 = A8 \oplus B3 \oplus B1 = 1 \oplus 0 \oplus 1 = 0$$

$$B9 = A9 \oplus B4 \oplus B2 = 1 \oplus 1 \oplus 1 = 1$$

$$B10 = A10 \oplus B5 \oplus B3 = 1 \oplus 0 \oplus 0 = 1$$

$$B11 = A11 \oplus B6 \oplus B4 = 1 \oplus 1 \oplus 1 = 1$$

$$B12 = A12 \oplus B7 \oplus B5 = 0 \oplus 1 \oplus 0 = 1$$

$$B13 = A13 \oplus B8 \oplus B6 = 1 \oplus 0 \oplus 1 = 0$$

$$B14 = A14 \oplus B9 \oplus B7 = 1 \oplus 1 \oplus 1 = 1$$

$$B15 = A15 \oplus B10 \oplus B8 = 1 \oplus 1 \oplus 0 = 0$$

$$B16 = A16 \oplus B11 \oplus B9 = 0 \oplus 1 \oplus 1 = 0$$

$$B17 = A17 \oplus B12 \oplus B10 = 1 \oplus 1 \oplus 1 = 1$$

$$B18 = A18 \oplus B13 \oplus B11 = 1 \oplus 0 \oplus 1 = 0$$

$$B19 = A19 \oplus B14 \oplus B12 = 1 \oplus 1 \oplus 1 = 1$$

$$B20 = A20 \oplus B15 \oplus B13 = 0 \oplus 0 \oplus 0 = 0$$

$$B21 = A21 \oplus B16 \oplus B14 = 0 \oplus 0 \oplus 1 = 1$$

$$B22 = A22 \oplus B17 \oplus B15 = 0 \oplus 1 \oplus 0 = 1$$

$$B23 = A23 \oplus B18 \oplus B16 = 0 \oplus 0 \oplus 0 = 0$$

$$B24 = A24 \oplus B19 \oplus B17 = 1 \oplus 1 \oplus 1 = 1$$

$$B25 = A25 \oplus B20 \oplus B18 = 1 \oplus 0 \oplus 0 = 1$$

$$B26 = A26 \oplus B21 \oplus B19 = 1 \oplus 1 \oplus 1 = 1$$

$$B27 = A27 \oplus B22 \oplus B20 = 1 \oplus 1 \oplus 0 = 0$$

$$B_{28} = A_{28} \oplus B_{23} \oplus B_{21} = 0 \oplus 0 \oplus 1 = 1$$

$$B_{29} = A_{29} \oplus B_{24} \oplus B_{22} = 1 \oplus 1 \oplus 1 = 1$$

$$B_{30} = A_{30} \oplus B_{25} \oplus B_{23} = 1 \oplus 1 \oplus 0 = 0$$

$$B_{31} = A_{31} \oplus B_{26} \oplus B_{24} = 1 \oplus 1 \oplus 1 = 1$$

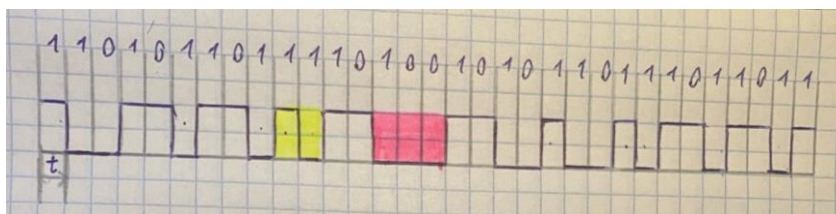
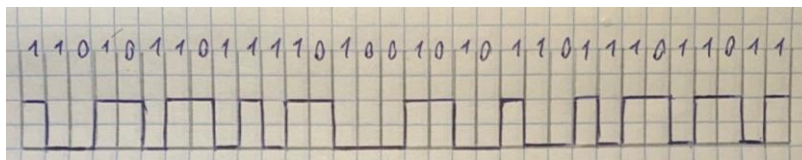
$$B_{32} = A_{32} \oplus B_{27} \oplus B_{25} = 0 \oplus 0 \oplus 1 = 1$$

Полное закодированное сообщение двоичным кодом: 11010110 11110100
10101101 11011011 10000000 11100011 00111101 10110110 00010100
10100010 01110111 10010011 10010101

В шестнадцатеричном коде: D6 F4 AD DB 80 E3 3D B6 14 A2 77 93 95

Длина сообщения: 13 байт (104 бита)

NRZI



Верхняя и нижняя границы частот в передаваемом сообщении и спектр сигнала:

Плотность $C = 10 \text{ Мбит/с}$

- 1) $C = 10 \text{ Мбит/с} \rightarrow t = 100 \text{ нс}; T = 2t \rightarrow f_d = \frac{1}{2t} = \frac{C}{2} = 5 \text{ МГц}$
- 2) $T = 6t \rightarrow f_n = 5 : 3 = 1,67 \text{ МГц}$

$$\Delta = 5 - 1,67 = 3,33 \text{ МГц}$$

Ч. диапазон: $7 - 5 - 1,67 = 33,33 \text{ МГц}$

Среднее значение частоты в спектре передаваемого сигнала:

$$f_{cp} = (11,5 + 9 \cdot 2,5 + 1 \cdot 10,7) / 21 \approx 3,77 \text{ МГц}$$

Полоса пропускания, необходимая для качественной передачи данного сообщения:

$$\text{Полоса пропускания: } F \rightarrow S \rightarrow F \rightarrow 33,33 \text{ МГц}$$

$$F = 34 \text{ МГц}$$

Сравнительный анализ результатов логического кодирования

Метод кодирования	f_{cp} МГц	S МГц	Достоинства	Недостатки
4B/5B (NRZI)	3.8	33.75	- Нет постоянной составляющей - Есть обнаружение ошибок	-Избыточность кодирования
Scramb (NRZI)	3.77	33.33	-Нет избыточности кодирования	-Есть постоянная составляющая

Сравнительный анализ логического кодирования показывает, что для первых 4 байт сообщения оба метода показывают примерно одинаковые характеристики, однако если рассматривать сообщение целиком, то метод скремблирования будет иметь достаточно большую постоянную составляющую, что повлияет на спектр передаваемого сообщения. Поэтому, несмотря на избыточность кодирования, для передачи исходного сообщения я выбираю метод 4B/5B.

Этап 5. Сравнительный анализ результатов кодирования

Метод	Комментарий
Манчестерский код (М-II)	+ Имеет всего два уровня сигнала + Отсутствует постоянная составляющая + Есть самосинхронизация - Широкий спектр сигнала
Потенциальный код с инверсией при единице (NRZI)	+ Имеет всего два уровня сигнала + Есть самосинхронизация - Постоянная составляющая при длинных комбинациях
Избыточное кодирование	+ Есть самосинхронизация + Используется меньший спектр + Можно выявлять ошибки + Простая реализация в виде таблицы перекодировки - Уменьшение пропускной способности из-за лишних бит

	- Дополнительные ресурсные затраты при логическом кодировании
Скремблирование	+ Нет уменьшения пропускной способности + Отсутствует постоянная составляющая - Дополнительные ресурсные затраты при скремблировании и дескремблировании - Отсутствие гарантии исключения всех последовательностей и возможность появления новых.

Таким образом наиболее эффективным алгоритмом кодирования исходного сообщения является избыточное кодирование. В нём ресурсные затраты на вычисление гораздо меньше, нежели для скремблирования, а возможность выявления ошибок перекрывает проблемы с увеличением длины сообщений на 25%, которое снижает пропускную способность на четверть.

Выводы:

Для передачи исходного сообщения оптимальным будет использовать метод физического кодирования-NRZI и метод логического кодирования-избыточное кодирование. Данная связка поможет передать сообщение по более дешевому каналу, с небольшим спектром и без постоянной составляющей. Но стоит позаботиться о синхронизации, так как метод не обладает самосинхронизацией. Также добавятся дополнительные ресурсные затраты, но они компенсируются тем, что будет снижена длина постоянной составляющей.

Добавлено примечание ([ТАЗ]): Ничего не понял???